

T H E S E S
présentées à
LA FACULTE DES SCIENCES DE PARIS
pour l'obtention du titre
de DOCTEUR de l'UNIVERSITE
de PARIS
(mention Sciences)
par

Mr. Vincenzo ROSSETTI

Sujet de la 1ère Thèse

**MODELE MATHEMATIQUE SERVANT A ETABLIR LA DUREE
OPTIMALE DES MACHINES ET DES INSTALLATIONS.**

Sujet de la 2ème Thèse

PROPOSITIONS DONNEES PAR LA FACULTE

Soutenues le 11 Mars 1970 devant la Commission

composée de :

Président Monsieur le Professeur **Jean VILLE**

Examineurs { Monsieur le Professeur **Antonio GIORNELLI**
(Rapporteur)
Monsieur le Professeur **Paul SOLEILLET**



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41551625_0003

T H E S E S
présentées à
LA FACULTE DES SCIENCES DE PARIS
pour l'obtention du titre
de DOCTEUR de l'UNIVERSITE
de PARIS
(mention Sciences)
par

Mr. Vincenzo ROSSETTI

Sujet de la 1ère Thèse

**MODELE MATHEMATIQUE SERVANT A ETABLIR LA DUREE
OPTIMALE DES MACHINES ET DES INSTALLATIONS.**

Sujet de la 2ème Thèse

PROPOSITIONS DONNEES PAR LA FACULTE

	Soutenues	le	11	Mars	1970	devant	la	Commission
composée de :	Président	Monsieur	le	Professeur	Jean VILLE			
	Examineurs	{	Monsieur	le	Professeur	Antonio GIORNELLI (Rapporteur)		
			Monsieur	le	Professeur	Paul SOLEILLET		

THÈSES

présentées à

LA FACULTÉ DES SCIENCES DE PARIS

pour l'obtention de titre

de DOCTEUR de l'UNIVERSITÉ

de PARIS

(mention Sciences)

par

Mr. Vincenzo ROSSETTI

Sujet de la Thèse

MODELE MATHEMATIQUE SERVANT A ETABLIR LA LOI DE
OPTIMALE DES MACHINES ET DES VIBRATIONS



Sujet de la Thèse

PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ

Examinés le 11 Mars 1910

Examinés le 11 Mars 1910

Examinés le 11 Mars 1910

Examinés le 11 Mars 1910

MODELE MATHEMATIQUE SERVANT A' ETABLIR LA DUREE OPTIMALE DES MACHINES ET DES INSTALLATIONS.

Thèse de Doctorat de l'Université de Paris,
Mention Sciences, spécialité Econométrie
de Vincenzo ROSSETTI.

RESUME

Le but de cette thèse est d'obtenir une formule qui permet d'établir d'avance la durée optimale d'une installation.

Après avoir mis en évidence l'importance de pouvoir prédéterminer la durée de vie optimale, on met en relation les grandeurs influençant la productivité des machines ou des installations et les frais exigés pour la réalisation de la production. Cette relation, qui s'exprime par la formule (28)

$$\bar{c}_t = \frac{C_{gt}}{P} = \alpha + \frac{\beta}{p} + \frac{r}{2} P + \frac{C_o}{H_p} \frac{\vartheta}{1 - (1 + \vartheta)^{-\frac{P}{H_p}}} + \frac{V_o}{P} \left[\left(\frac{P}{P_{\lambda=0}} \right)^{\frac{1}{\lambda}} - 1 \right] \quad [Fr/u] \quad (28),$$

permet d'obtenir le coût moyen unitaire de transformation $\bar{c}_t$ en fonction du nombre des unités produites P.

Dans la formule (28) on a mis:

$$\alpha = \Delta M \frac{s_o}{p_o} + C + R_o + G_2 + S_f$$

$$\beta = (1 + g_1) \ln$$

$$p_o = p_o' - s_o \quad [u/h] \quad (3).$$

Le coût moyen unitaire minimum de transformation $\bar{c}_t$ est accouplé à la valeur de la variable indépendante P qui annule la dérivée première $\frac{d\bar{c}_t}{dP}$ de la fonction (28).

Cette valeur de P, que l'on appelle production optimale, est obtenu en remplissant l'égalité (29)

$$\frac{r}{2} P^2 - \frac{C_0 \vartheta \log_e (1 + \vartheta)}{(Hp)^2} \frac{P^2}{(1 + \vartheta) \frac{P}{Hp} + (1 + \vartheta) \frac{P}{Hp} - 2} + V_0 \left[\frac{1 - \lambda}{\lambda} \left(\frac{P}{P_{\lambda=0}} \right)^{\frac{1}{\lambda}} + 1 \right] = 0 \quad (29)$$

Puisque la productivité réelle des machines ou des installations est définie par la relation (11)

$$p = K \tau_u p_0 \quad [u/h] \quad (11),$$

on peut calculer la durée optimale d'une machine ou d'une installation au moyen du rapport exprimé par la relation (12)

$$t = \frac{P}{K \tau_u p_0} = \frac{P}{p} \quad [h] \quad (12)$$

où P est la production optimale fournie précédemment par l'équation (29).

En introduisant dans l'étude la part de la dévaluation sur les résultats obtenus la relation (28) se transforme dans la formule (28')

$$\bar{c}_t = \frac{C_{gt}}{P} = \frac{Hp}{\log_e (1 + S_v)} \left[\alpha + \frac{\beta}{p} - r \frac{Hp}{\log_e (1 + S_v)} \right] \frac{(1 + S_v) \frac{P}{Hp} - 1}{P} +$$

$$+ r \frac{Hp}{\log_e (1 + S_v)} (1 + S_v) \frac{P}{Hp} + \frac{C_0}{Hp} \frac{\vartheta}{1 - (1 + \vartheta) \frac{P}{Hp}} + \frac{V_0}{P} \left[\left(\frac{P}{P_{\lambda=0}} \right)^{\frac{1}{\lambda}} - 1 \right] \quad [Fr/u] \quad (28')$$

et l'équation (29) se transforme dans la (29')

$$r (1 + S_v) \frac{P}{Hp} P^2 - \frac{C_0 \vartheta \log_e (1 + \vartheta)}{(Hp)^2} \frac{P^2}{(1 + \vartheta) \frac{P}{Hp} - 2 + (1 + \vartheta) \frac{P}{Hp}} + \left[\alpha + \frac{\beta}{p} + \right.$$

$$\left. - r \frac{Hp}{\log_e (1 + S_v)} \right] P (1 + S_v) \frac{P}{Hp} - \frac{Hp}{\log_e (1 + S_v)} \cdot \left[\alpha + \frac{\beta}{p} - r \frac{Hp}{\log_e (1 + S_v)} \right] \left[(1 + S_v) \frac{P}{Hp} + \right.$$

$$\left. - 1 \right] + V_0 \left[\frac{1 - \lambda}{\lambda} \left(\frac{P}{P_{\lambda=0}} \right)^{\frac{1}{\lambda}} + 1 \right] = 0 \quad (29')$$

Les équations obtenues étant plutôt complexes, on étudie deux nomogrammes, qui fournissent, à l'aide d'un tableau reporté, directement les facteurs dépendant de la production effectuée et présents dans tous les termes de l'équation finale (28'). Pour cela, si l'on n'a pas un calculateur électronique on peut résoudre plusieurs fois la (28'), en fixant des valeurs arbitraires à la variable P . La courbe d'interpolation des points correspondant aux couples de valeurs $(P; \bar{c}_t)$ rapportés au diagramme est le graphique sur lequel on peut lire la valeur de la production optimale, où le $\bar{c}_t$ est le plus bas.

Dans la conclusion on a mis en évidence les paramètres présents dans les relations finales; on distingue ceux qu'il est nécessaire d'établir d'après les résultats fournis par des machines analogues à celles prises en examen, mais déjà en fonction depuis longtemps et les paramètres propres à la machine dont on veut connaître la production optimale.

Sens des symboles cités dans le résumé.

$\bar{c}_t$ [Fr/u] = coût moyen unitaire de transformation de l'unité de production;

C_{gt} [Fr] = coût global de transformation de la production P ;

P [u] = nombre d'unités fournies par la machine à partir du moment où elle est insérée dans le cycle de production;

ΔM [Fr/u] = différence de prix entre le matériau brut présent dans l'unité produite par la machine et la valeur d'unité de rebut;

p'_0 [u/h] = productivité brute continue; ce paramètre est inversement proportionnel à la durée normale d'un cy

cle de travail convenablement augmenté pour tenir compte des incidences qui retardent le rythme de la production;

- s_o [u/h] = rebut horaire moyen sortant de la machine exécutant la p_o' ;
- p_o [u/h] = productivité nette lancée;
- C [Fr/u] = coût des matériaux d'emploi, de l'outillage, des ustensiles et de l'énergie pour chaque unité de production;
- R_o [Fr/u] = coût unitaire initial des réparations et de l'entretien par unité de production;
- s_f [Fr/u] = perte de valeur du matériau brut se transformant en riblons, répartie sur chaque unité produite;
- G_1 = coefficient pour définir combien de francs on a dépensé pour frais généraux, réparties proportionnellement à la main - d'œuvre, sur chaque franc dépensé pour main - d'œuvre directe;
- G_2 [Fr/u] = reste des frais généraux répartis sur chaque unité produite;
- l [Fr/u] = coût moyen heure - ouvrier, y compris les charges;
- n = nombre d'ouvriers attachés à la machine;
- r [Fr/u²] = accroissement moyen des frais pour réparations et entretien par chaque unité successivement produite;
- C_o [Fr] = capital global à dépenser pour mettre la machine en condition de produire la première pièce utile;
- H [h/a] = nombre annuel d'heures de travail théoriques de la machine;
- p [u/h] = productivité horaire effective de la machine;
- τ_u [h/h] = temps horaire de production, durant la production continue, net d'entretien et de réparations;

K	=	coefficient inférieur à 1 exprimant la réduction de rendement de la machine pour les temps d'arrêt dus aux changements type;
ϑ	=	taux des intérêts passifs;
V_0 [Fr]	=	prix d'achat de la machine;
$P_{A=0}$ [u]	=	production réalisable en faisant travailler la machine jusqu'à ce que le prix de vente de la machine soit égal aux frais de déplacement et de transport;
λ	=	coefficient égal à 2 pour machines qui sont facilement commercialisées et égal à 3 pour machines ou installations spéciales;
t [h]	=	temps employé par la machine pour produire P;
S_v	=	taux de dévaluation.

Unité de mesures employées.

Fr	=	franc;
u	=	unité de mesure de la quantité de production (ex. barres, mètres, Kg., etc.);
h	=	heure;
a	=	an.

Le candidat remercie Monsieur le Professeur Dr. Ing. Antonio Giornelli, le Centre d'Etudes et de Documentation (CED), l'Ecole Supérieure de Perfectionnement Industriel (ESPI), le Centre d'Etudes de la FIDIIDS pour les Sciences Appliquées et la Technologie (CESAT), le SOPEEFS de l'Université de Paris et Monsieur le Professeur Jean Ville pour l'orientation didactique et pour l'assistance scientifique qu'ils ont bien voulu lui donner pour ce travail.

TABLE DES MATIERES

	P a g e
1. Introduction	8
2. Détermination de la durée optimale	10
3. Influence de la dévaluation	25
4. Etude des nomogrammes	31
5. Conclusions	44
6. Bibliographie	49

1. INTRODUCTION

Voici quelques-uns des problèmes que l'Ingénieur est appelé à résoudre :

1) Constater s'il manque quelque machine nécessaire au cycle de production et laquelle il faudrait choisir parmi celles que le marché offre.

2) Examiner le parc-machines, au cas où il serait complet, pour voir si quelque pièce est déjà vétuste par rapport aux nouveaux types ou bien prévoir quand elle le sera.

3) Vérifier si quelque machine, sans pour cela être vétuste, présente un état d'usure appelant des frais d'entretien ou de réparation si élevés qu'ils seraient préférable de remplacer la vieille machine par une nouvelle.

4) Trouver la possibilité technique de modifier une machine dans le but d'augmenter la capacité de production ou de réduire les frais d'entretien; prévoir si la modification est économiquement avantageuse.

La solution de ces problèmes conduit à l'analyse du taux de rentabilité des investissements relatifs à chaque installation et à l'analyse du temps nécessaire pour récupérer les mêmes investissements, cela permettant d'en évaluer les risques.

La méthode MAPI (Machinery and Allied Products Institute) fournit la synthèse de cette analyse, mais d'autres méthodes sont possibles [1] .

Chaque solution obtenue est pourtant influencée par la valeur de la durée prévue du travail fourni par l'installation [5]. La durée la plus avantageuse d'une installation est celle qui présente le rapport le plus bas entre les dépenses exigées dans le but d'obtenir telle production et le nombre indiquant les u-

nités produites; ce rapport particulier représente le coût moyen progressif le plus bas de l'unité de production; la durée relative est la durée optimale de l'installation.

Une enquête visant la recherche de la possibilité d'obtenir la durée optimale des machines automatiques, fixant le coût moyen progressif minimum et la production relative totalisée, a été effectuée par M.M.A. Tamagno dans une brochure [6] présentée au XII Congrès National de la " Associazione Meccanica Italiana "

Le procédé fourni par ce chercheur a été appliqué à des machines de l'industrie métallurgique, introduites dans un cycle de travail depuis plusieurs années, mais on a constaté que les variations, relatives à la production, de plusieurs grandeurs, influençant la durée optimale s'écartent des conditions indiquées.

On a cherché à interpréter les différentes données entraînant des modifications par rapport à la durée optimale des installations et des machines, par des relations d'ordre mathématique adéquates à la réalité des cas analysés, dans le dessein d'obtenir des résultats plus dignes de foi.

Il a été aussi tenu compte des intérêts composés calculés par rapport au capital dépensé au début, moyennant un plan d'amortissement par versements constants, d'après la méthode progressive ou française [7] appliquée à partir du moment où la production commence jusqu'à celui où l'on estime nécessaire de retirer la machine ou l'installation du cycle de production.

On a vu qu'il était aussi opportun de prendre en considération l'effet que la dévaluation opère sur certains paramètres qui pèsent sur le coût industriel et par suite sur la durée optimale des installations.

2. DETERMINATION DE LA DUREE OPTIMALE

La durée optimale est mesurée en quantité de production utile (sans rebuts) fournie par la machine dès qu'elle est insérée dans le cycle de production. L'unité de mesure de la quantité de production varie suivant le type de machine. Elle peut s'exprimer soit en barres, soit en mètres, Kg. etc.; on l'indiquera par la lettre u.

Si on indique par:

C_g [Fr] = le montant des frais entraînés pour obtenir une production P.

P [u] = la production progressive fournie par la machine à partir du moment où elle est insérée dans le cycle de production;

$\bar{c}$ [Fr/u] = le coût moyen progressif de l'unité de production;

on obtient

$$\bar{c} = \frac{C_g}{P} \quad [\text{Fr/u}] \quad (1)$$

La productivité horaire effective nette, de la machine est donnée par:

$$p = \frac{P}{t} \quad [\text{u/h}] \quad (2)$$

où t est le temps employé par la machine pour produire P.

Normalement on connaît la productivité brute des machines qu'on indique par p'_0 [u/h] .

La productivité brute continue relève des principes de l'Organisation Scientifique du Travail (Le "Scientific Management" fondé par l'américain F. W. Taylor il y a plus de cinquante ans). Il est donc nécessaire d'étudier le travail que

doit fournir le binôme ouvrier-machine moyennant deux enquêtes:

1) Enquête sur les méthodes possibles pour trouver la solu
tion meilleure exploitant de la façon la plus rationnelle les in
stallations, l'équipement, et la main - d'œuvre.

2) Enquête sur les temps, si possible à l'aide de temps
standard élémentaire, pour déterminer la durée normale d'un seul
cycle exécuté avec la méthode la meilleure par un ouvrier pré-
sentant habileté et activité normales et opérant dans des condi-
tions normales de travail avec un rendement normal. Ce temps cor-
respond au rendement normal (égal aux $3/4$ du rendement maximum,
d'après les recherches de Bedaux); on le confronte avec une uni-
té de production, mais il ne correspond pas encore à la produc-
tivité brute continue du fait qu'il ne comprend pas les interrup-
tions qui ont, normalement, lieu durant les périodes de travail.
Pour tenir compte de ces incidences on établit en général les
majorations suivantes augmentant le temps normal [8] :

- majorations pour besoins personnels;
- majorations pour fatigue;
- majorations pour retards inévitables;

On a constaté que le temps réclamé pour besoins personnels
(se désaltérer, besoins physiologiques) augmente au fur et à mesu-
re de la difficulté du travail, de l'écart de la température par
rapport aux conditions normales, de la quantité de poussière. Il
n'y a pas de différence entre hommes et femmes. L'emplacement
des installations sanitaires influence naturellement ce temps.

Les pourcentages de majoration se rapportent au temps total
du cycle. Les valeurs adoptées sont [8] :

- 4% égal à 19 minutes pour 480 minutes de travail, pour tra-
vaux normaux;
- 5% égal à 24 minutes pour 480 minutes de travail, pour tra-

vaux en présence de températures élevées, ou de toute façon pour variations continuelles de température;

- 6% égal à 29 minutes pour 480 minutes de travail, relatif à température élevée et à poussière.

Les majorations pour fatigue ne sont appliquées qu'aux opérations manuelles et non pas à l'ensemble du cycle.

Il n'existe pas de méthode scientifique pour mesurer l'effort demandé à l'ouvrier et pour fixer par conséquent le repos nécessaire. La majoration pour fatigue a pour but de permettre à l'ouvrier de se délasser. Il lui est de telle sorte possible de maintenir un niveau de rendement presque uniforme pendant toutes les heures de travail, réintégrant une partie de son aptitude, sans pour autant éliminer la fatigue.

Parmi les facteurs que l'on peut considérer dans le but de définir le repos, les plus significatifs sont [8] :

- 1) Effort physique relevant de:
 - a) intensité de l'effort;
 - b) distribution de l'effort rapporté au temps;
 - c) concentration de l'effort sur le même membre.
- 2) Effort neuro - psychique relevant de:
 - a) monotonie;
 - b) attention excessive;
- 3) Rythme considéré lorsque un cycle ne dépasse pas 1 minute et son indice pouvant être:

$$i = \frac{60''}{1''}$$

- 4) Bruit
- 5) Eclairage
- 6) Température, humidité, ventilation
- 7) Risques
- 8) Odeurs et poussière.

Les systèmes empiriques employés pour évaluer cette majoration sont globaux ou analytiques. Un système donnant des résultats très appréciables a paru dans la revue "Management Digest" du mois de septembre 1955 sous les auspices de Dodge Manufacturing Co. de Mishawaka Ind. U.S.A. Cette méthode est synthétisée dans le Tabl. 1 où les flèches portent l'exemple d'un cycle, le travail intellectuel étant considéré comme léger, tandis que le travail musculaire est tenu pour moyen. Le temps cycle est de 1,65 minute; le temps de repos pour chaque cycle est de 0,48 minute.

Les majorations dues à des retards inévitables tiennent compte des retards non imputables à l'ouvrier, qui pourtant pèsent indirectement sur le total des temps manuels.

Les retards sont dus en général à des opérations marginales et en partie fortuites. Les principales incidences sont [8] :

- Interruptions pour recevoir des ordres ou des conseils de la part des chefs;
- Contrôle de production;
- Vérification, de la part du programmeur, de l'avancement du travail;
- Nettoyage des machines et éventuel huilage;
- Autres causes relevant de l'organisation de la production.

Ces retards doivent être définis un à un.

Une fois le temps moyen effectif d'un cycle établi, compte tenu du temps normal et des majorations, on obtient la productivité brute lancée, soit p'_0 .

Si l'on indique par s_0 le rebut horaire, que nous exprimons en unité-heure [u/h], la productivité nette lancée s'obtient par la formule:

$$p_0 = p'_0 - s_0 \quad [\text{u/h}] \quad (3)$$

FORMULES EXPRIMANT LA FATIGUE

Partie I - Concession pour effort intellectuel - degré et concession	LEGER 0,6 % MOYEN 1,8 % LOURD 3,0 %	FATIGUE INTELLECTUELLE 0,6 % 5,4 % FATIGUE PHYSI. TOTAL 6,0 %	Partie II - Concession pour effort physique - degré et concession	TRES LEGER 1,8 % LEGER 3,6 % MOYEN 5,4 % LOURD 7,2 % TRES LOURD 9,0 %
Partie III - Temps vide et reprise % du cycle - coeff.	0 + 5 1,00 6 + 10 0,90 11 + 15 0,80 16 + 20 0,71 21 + 25 0,62 26 + 30 0,54 31 + 35 0,46 36 + 40 0,39 41 + 45 0,32 46 + 50 0,26 51 + 55 0,20 56 + 60 0,15	Temps cycle (min.) 1,65 Reprise temps (min.) 0,48 % Repr. Temps = = $\frac{0,48}{1,65} \cdot 100 = 29,1 \%$ Facteur = 0,54 % Facteur net de Fatigue Manuelle et Intellectuel. 6,0 x 0,54 = 3,25 % 1,50 % Long.Cycle min. 1 + 4 Total con- cession pour fatigue 4,75 %	Partie IV - Concession pour monotonie	Long. Cycle Conces Minutes sion 0, + 0,05 7,8 % 0,06 + 0,25 5,9 % 0,26 + 0,50 3,6 % 0,51 + 1 2,1 % 1 + 4 1,5 % 4 + 8 1,0 % 8 + 12 0,6 % 12 + 16 0,3 % au-delà de 16 0,1 % Cycle non séparé 1,0 %

TABLeAU - 1 -

Les arrêts pour réparations et entretien, pendant lesquels le personnel affecté aux machines est inactif, amènent à réduire la productivité.

A partir de l'instant où la machine a commencé à produire (temps $t=0$) jusqu'au temps générique t , la machine demeure improductive (avec ouvriers affectés inactifs) un certain nombre d'heures calculées par:

$$t_f = \sum_0^t \Delta t_f \quad [h] \quad (4)$$

où Δt_f est l'espace de temps de chaque arrêt.

Le temps perdu pour réparations et entretien par rapport à chaque heure est en moyenne:

$$\tau_p = \frac{\sum_0^t \Delta t_f}{t} \quad [h/h] \quad (5)$$

et ce qu'il reste du temps productif horaire est

$$\tau_u = 1 - \tau_p = 1 - \frac{\sum_0^t \Delta t_f}{t} \quad [h/h] \quad (6)$$

On estime que le paramètre τ_p ne varie pas avec le temps et qu'il demeure constant. En fait, si τ_p dépasse une certaine valeur, conditionnée par la complexité de la machine, les responsables de l'entretien doivent en découvrir les causes et définir, les frais exigés pour les réduire. Normalement, de cette analyse il ressort qu'il est rentable d'intervenir par des entretiens exceptionnels aptes à ramener les arrêts de l'installation au-dessous des valeurs fixées.

Considérant les arrêts pour réparation et entretien, la productivité se réduit à:

$$p_o'' = \tau_u p_o \quad [u/h] \quad (7)$$

La réduction de productivité de la machine, causée par des changements de modèles, est proportionnelle à l'importance des lots économiques.

Si l'on indique par $P_e [u]$ le nombre d'unités produites par chaque lot économique, le temps employé à les produire est:

$$t_e = \frac{P_e}{\tau_u p_0} \quad [h] \quad (8)$$

Le temps T_e d'un cycle productif d'un lot économique comprend le temps $T_c [h]$ d'un changement type et il est:

$$T_e = \frac{P_e}{\tau_u p_0} + T_c \quad [h] \quad (9)$$

Le rapport

$$K = \frac{t_e}{T_e} = \frac{\frac{P_e}{\tau_u p_0}}{\frac{P_e}{\tau_u p_0} + T_c} = \frac{1}{1 + \frac{\tau_u \cdot p_0 \cdot T_c}{P_e}} \quad [h/h] \quad (10)$$

est un coefficient inférieur à 1 exprimant la réduction de rendement de la machine pour les temps d'arrêt dus aux changements type.

La productivité réelle qui tient compte aussi des changements type, devient:

$$p = K p_0'' = K \tau_u p_0 \quad [u/h] \quad (11)$$

En comparant la formule (2) avec la formule (11) on a:

$$p = \frac{dP}{dt} = K \tau_u p_0$$

donc

$$dt = \frac{dP}{K \tau_u p_0} = \frac{dP}{p}$$

et on obtient par intégration

$$\int_0^t dt = \int_0^P \frac{dP}{K \tau_u p_0} = \int_0^P \frac{dP}{p}$$
$$t = \frac{P}{K \tau_u p_0} = \frac{P}{p} \quad [h] \quad (12)$$

qui donne le temps nécessaire pour obtenir la production P .

Si l'on met en vedette P , à partir de la formule (12) on obtient:

$$P = K \tau_u p_0 t = pt \quad [u] \quad (13)$$

ce qui permet de définir la production réalisée dans le temps t .

Le coût $\bar{c}$ de la formule (1) s'obtient en ajoutant le coût industriel net au coût unitaire d'amortissement et en retranchant la valeur d'aliénation de la machine répartie sur chaque unité.

Le coût industriel net c_i de chaque unité produite s'obtient en additionnant les coûts unitaires suivants.

- $L \quad [Fr/u] =$ coût de main - d'œuvre par unité de production;
- $C \quad [Fr/u] =$ coût des matériaux d'emploi, de l'outillage, des ustensiles et de l'énergie par unité de production;
- $R \quad [Fr/u] =$ frais de réparations et d'entretien par unité de production;
- $G \quad [Fr/u] =$ fraction de frais généraux pesant sur l'unité de production;
- $\Delta S \quad [Fr/u] =$ diminution de valeur pour rebuts répartie sur chaque unité produite;

$M \text{ [Fr/u]}$ = coût du matériau entrant dans la machine et présent dans l'unité utile sortant de la machine elle-même;

$S_f \text{ [Fr/u]}$ = perte de valeur du matériau brut se transformant en riblons, répartie sur chaque unité produite.

Partant

$$c_i = L + C + R + G + \Delta S + M + S_f \quad [\text{Fr/u}] \quad (14)$$

représente le coût industriel global unitaire.

Dans l'analyse de beaucoup de produits et en particulier dans l'analyse des semi-ouvrés il est bon de définir le prix de transformation qui doit s'ajouter par la suite au coût unitaire du matériau. On dégage ainsi l'étude des variations que peut subir le prix du matériau avec le temps.

Le prix industriel ainsi obtenu se définit "coût industriel de transformation" c_{it} .

$$c_{it} = L + C + R + G + \Delta S + S_f \quad [\text{Fr/u}] \quad (15)$$

qui ne contient donc pas M .

En indiquant par:

$l \text{ [Fr/h]}$ = coût moyen heure-ouvrier, y compris les charges;

n = nombre d'ouvriers affectés à la machine;

on a:

$$L = \frac{l_i}{n} \quad [\text{Fr/u}] \quad (16)$$

Le coût unitaire des réparations et entretien est

$$R = R_o + rP \quad [\text{Fr/u}] \quad (17)$$

où:

R_0 [Fr/u] est le coût unitaire initial des réparations et entretiens;

r [Fr/u²] est l'accroissement de R par unité successivement produite.

Les frais généraux G peuvent se répartir en [9] :

G_1 [Fr/u] = frais répartis proportionnellement à la main-d'œuvre et donc à L ;

G_2 [Fr/u] = autres frais généraux distribués sur chaque unité produite.

$$G_1 = g_1 L \quad [\text{Fr/u}] \quad (18)$$

où g_1 est un coefficient (nombre pur) indiquant combien de francs sont destinés aux frais généraux de façon proportionnelle au temps par rapport à chaque franc affecté à la main-d'œuvre directe de la machine.

$$L + G = L + G_1 + G_2 = \frac{ln}{p} + g_1 \frac{ln}{p} + G_2 = \frac{ln}{p} (1 + g_1) + G_2$$

Si l'on pose $g = 1 + g_1$ on a

$$L + G = g \frac{ln}{p} + G_2 \quad [\text{Fr/u}] \quad (19)$$

L'installateur devra, dans le problème à l'étude, prévoir une attribution éventuelle de valeurs particulières à g et à G_2 , ou bien ne pas tenir compte des frais généraux en posant $g = 1$ et $G_2 = 0$.

La perte pour rebut sur chaque unité produite est donnée par

$$\Delta S = \Delta M \frac{S_0}{p} \quad [\text{Fr/u}] \quad (20)$$

où

$\Delta M [Fr/u]$ = différence de valeur entre M et la valeur de 1 unité de rebut.

Si l'on remplace les formules (17), (19), (20) dans la formule (15) on a:

$$c_{it} = \Delta M \frac{s_o}{p_o} + \frac{gln}{p} + rP + C + R_o + G_2 + S_t$$

Si l'on pose

$$\left\{ \begin{array}{l} \alpha = \Delta M \frac{s_o}{p_o} + C + R_o + G_2 + S_t \\ \beta = gln \end{array} \right.$$

on obtient:

$$c_{it} = \alpha + \frac{\beta}{p} + rP \quad [Fr/u] \quad (21)$$

Dans un espace de temps dt la machine réalise la production dP, dont le coût industriel de transformation est:

$$c_{it} dP = \alpha dP + \frac{\beta}{p} dP + rP dP \quad [Fr]$$

Le coût industriel net de transformation de la production P réalisée dans l'espace de temps t est:

$$\begin{aligned} C_{pt} &= \int_0^p c_{it} dP = \int_0^p \alpha dP + \int_0^p \frac{\beta}{p} dP + \int_0^p rP dP = \\ &= \alpha P + \frac{\beta}{p} P + \frac{rP^2}{2} \quad [Fr] \end{aligned}$$

qui se transforme en

$$C_{pt} = \left(\alpha + \frac{\beta}{p} \right) P + r \frac{P^2}{2} \quad [Fr] \quad (22)$$

Pour passer de la valeur industrielle nette de transformation au coût global de transformation on considère le capital

$$C_o = V_o + V_{ta} + R_a \quad [\text{Fr}] \quad (23)$$

où

- $V_o \quad [\text{Fr}]$ = prix d'achat de la machine;
 $V_{ta} \quad [\text{Fr}]$ = frais d'achat et de transport;
 $R_a \quad [\text{Fr}]$ = montant des frais de mise en train de la machine, indiqués par les frais d'installation et d'aménagement, équipement initial et outillage, mise au point;
 $C_o \quad [\text{Fr}]$ = capital global à dépenser pour mettre la machine en condition de produire la première pièce utile.

La valeur du versement différé nécessaire afin d'amortir en n périodes et au taux ϑ le capital de 1 franc est :

$$\frac{\vartheta (1 + \vartheta)^n}{(1 + \vartheta)^n - 1}$$

Dans l'exemple étudié si on indique par:

- $t_f \quad [h]$ = temps de travail au-delà duquel on estime que la machine aura cessé de produire;
 $H \quad [h/a]$ = nombre annuel d'heures de travail théoriques de la machine;
 $M_o \quad [\text{Fr}]$ = somme d'argent versée afin d'amortir le capital initial.

$$M_o = C_o \cdot \frac{t_f \quad \vartheta (1 + \vartheta)^{\frac{t_f}{H}}}{H \quad (1 + \vartheta)^{\frac{t_f}{H}} - 1} \quad [\text{Fr}] \quad (24)$$

si l'on indique P_f la production finale réalisée dans le temps t_f la (12) devient

$$t_f = \frac{P_f}{p}$$

et la formule (24) se transforme en:

$$\begin{aligned} M_o &= C_o \frac{P_f}{H_p} \frac{\vartheta (1 - \vartheta)^{\frac{P_f}{H_p}}}{(1 + \vartheta)^{\frac{P_f}{H_p}} - 1} = \\ &= C_o \frac{P_f}{H_p} \frac{\vartheta}{1 - (1 + \vartheta)^{-\frac{P_f}{H_p}}} \quad [\text{Fr}] \quad (25) \end{aligned}$$

La valeur de la machine au cas où l'on voudrait enlever du cycle de production, deduction faite des frais de déplacement, décroît en fonction de P selon des facteurs qu'il est difficile de prévoir. Ces facteurs sont le reflet de l'âge réel de la machine, de son état d'usure et d'entretien, du degré d'obsolescence, de la marque de fabrique et des cours du marché.

C'est donc une loi empirique qui fixe le prix de vente de la machine, diminué des frais de déplacement [6]

$$A = V_o (1 - \eta^{\frac{\lambda}{\sqrt{P}}}) \quad [\text{Fr}] \quad (26)$$

où

λ = 2 pour machines qui sont facilement commercialisées et qui ne présentent pas de fréquentes manifestations d'obsolescence;

λ = 3 pour machines ou installations spéciales, qui sont difficilement commercialisées ou vite dépassées;

$\eta \left[u^{-\frac{1}{\lambda}} \right]$ = coefficient résultant de l'équation $\eta = P_{\lambda-0}^{-1/\lambda}$ où

$P_{A=0} [u]$ = production réalisable en faisant travailler la machine jusqu'à ce que $A = 0$, c'est-à-dire jusqu'à ce que la valeur de revente soit égale aux frais de déplacement et transport.

L'expression analytique du coût global de transformation C_{gt} de la production P , considérant $P_f = P$, est fournie par l'addition algébrique des formules (22) (25) (26)

$$C_{gt} = \alpha P + \frac{\beta}{p} P + \frac{r}{2} P^2 + C_o \frac{P}{Hp} \frac{\vartheta}{1 - (1 + \vartheta)^{-\frac{1}{Hp}}} - V_o + V_o \eta \sqrt{P} \quad [Fr] \quad (27)$$

Le coût moyen unitaire de transformation $\bar{c}_t$ s'obtient par:

$$\bar{c}_t = \frac{C_{gt}}{P} = \alpha + \frac{\beta}{p} + \frac{r}{2} P + \frac{C_o}{Hp} \frac{\vartheta}{1 - (1 + \vartheta)^{-\frac{1}{Hp}}} - \frac{V_o}{P} + V_o \eta P^{\left(\frac{1}{\lambda} - 1\right)} \quad [Fr/u] \quad (28) (*)$$

dont le minimum est:

$$\frac{d \bar{c}_t}{d P} = \frac{r}{2} + \frac{C_o \vartheta}{Hp} \frac{(1 + \vartheta)^{-\frac{1}{Hp}} \log_e (1 + \vartheta)}{1 - (1 + \vartheta)^{-\frac{1}{Hp}}} + \frac{V_o}{P^2} + \frac{1 - \lambda}{\lambda} V_o \eta P^{\left(\frac{1}{\lambda} - 2\right)} = 0$$

(*) Les deux derniers termes de (28) peuvent être réduits à un seul terme

$$+ \frac{V_o}{P} \left[\left(\frac{P}{P_{A=0}} \right)^{\frac{1}{\lambda}} - 1 \right]$$

En multipliant par P^2 on obtient:

$$\frac{r}{2} P^2 - \frac{C_o \vartheta}{(Hp)^2} P^2 \frac{(1 + \vartheta)^{-\frac{P}{Hp}} \log_e (1 + \vartheta)}{1 - 2(1 + \vartheta)^{-\frac{P}{Hp}} + (1 + \vartheta)^{-\frac{2P}{Hp}}} + V_o + \frac{1 - \lambda}{\lambda} V_o \eta P^{\frac{1}{\lambda}} = 0$$

dont

$$P^2 \left\{ \frac{r}{2} - \frac{C_o \vartheta \log_e (1 + \vartheta)}{(Hp)^2} \frac{1}{(1 + \vartheta)^{\frac{P}{Hp}} - 2 + (1 + \vartheta)^{-\frac{P}{Hp}}} \right\} + \frac{1 - \lambda}{\lambda} V_o \eta P^{\frac{1}{\lambda}} + V_o = 0$$

ou bien

$$\frac{r}{2} P^2 - \frac{C_o \vartheta \log_e (1 + \vartheta)}{(Hp)^2} \frac{P^2}{(1 + \vartheta)^{\frac{P}{Hp}} + \frac{1}{(1 + \vartheta)^{\frac{P}{Hp}}} - 2} + \frac{1 - \lambda}{\lambda} V_o \eta P^{\frac{1}{\lambda}} + V_o = 0 \quad (29) (**)$$

La valeur du facteur P porté dans la formule (29) rend possible l'égalité ci-dessus et définit la production optimale P_{ott} , c'est-à-dire la production donnant lieu au coût minimum de transformation unitaire $\bar{c}_t$. En fait si l'on remplace P_{ott} dans la formule (28) on réalise le $\bar{c}_t$ le plus bas et si on le place dans la (12) on parvient au temps nécessaire pour obtenir la même P_{ott} et par conséquent le $\bar{c}_t$ minimum.

(**) Les deux derniers termes peuvent être réduits à un terme unique

$$+ V_o \left[\frac{1 - \lambda}{\lambda} \left(\frac{P}{P_{\lambda o}} \right)^{\frac{1}{\lambda}} + 1 \right]$$

3. INFLUENCE DE LA DEVALUATION

Dans le cours de ce travail on a négligé les augmentations qui frappent normalement avec le temps: la main - d'œuvre, les matériaux et les frais généraux.

Ces variations font, par rapport au temps, augmenter les termes qui se trouvent dans la formule (15).

Si l'on suppose que ces valeurs s'accroissent chaque année selon un taux moyen de dévaluation S_v , la formule (15) se transforme en:

$$c_{it} = (1 + S_v)^{\frac{t}{H}} (L + C + R + G + \Delta S + S_f) \quad [Fr/u] \quad (15')$$

ce qui fait que la (21) devient

$$c_{it} = (1 + S_v)^{\frac{t}{H}} \left(\alpha + \frac{\beta}{p} + rP \right) \quad [Fr/u] \quad (21')$$

dans laquelle les paramètres α, β, r assument la valeur rapportée au temps $t = 0$.

En poursuivant le raisonnement ainsi que dans le cas précédent, il s'ensuit que le coût de production réalisée dans l'espace de temps dt devient:

$$c_{it} dP = (1 + S_v)^{\frac{P}{H_p}} \alpha dP + (1 + S_v)^{\frac{P}{H_p}} \beta \frac{dP}{p} + (1 + S_v)^{\frac{P}{H_p}} rP dP$$

Le coût industriel net de transformation de la production P obtenue dans le temps t est:

$$C_{pt} = \int_0^P c_{it} dP = \left(\alpha + \frac{\beta}{p} \right) \int_0^P (1 + S_v)^{\frac{P}{H_p}} dP + r \int_0^P P (1 + S_v)^{\frac{P}{H_p}} dP$$

Puisque

$$\int P (1 + S_v)^{\frac{P}{Hp}} dP = P \frac{(1 + S_v)^{\frac{P}{Hp}}}{\log_e (1 + S_v)^{\frac{1}{Hp}}} - \int \frac{(1 + S_v)^{\frac{P}{Hp}}}{\log_e (1 + S_v)^{\frac{1}{Hp}}} dP = \frac{Hp}{\log_e (1 + S_v)} P (1 + S_v)^{\frac{P}{Hp}} - \left[\frac{Hp}{\log_e (1 + S_v)} \right]^2 (1 + S_v)^{\frac{P}{Hp}} = \frac{Hp \log_e (1 + S_v) P (1 + S_v)^{\frac{P}{Hp}} - (Hp)^2 (1 + S_v)^{\frac{P}{Hp}}}{[\log_e (1 + S_v)]^2} + \mathcal{C}$$

On peut écrire

$$C_{pt} = \left(\alpha + \frac{\beta}{p} \right) \left| \frac{(1 + S_v)^{\frac{P}{Hp}}}{\log_e (1 + S_v)^{\frac{1}{Hp}}} \right|_0^P + \frac{r}{[\log_e (1 + S_v)]^2} \left| Hp [\log_e (1 + S_v)] P (1 + S_v)^{\frac{P}{Hp}} - (Hp)^2 (1 + S_v)^{\frac{P}{Hp}} \right|_0^P =$$

$$= \frac{Hp}{\log_e (1 + S_v)} \left[\alpha + \frac{\beta}{p} - r \frac{Hp}{\log_e (1 + S_v)} \right] \left[(1 + S_v)^{\frac{P}{Hp}} - 1 \right] +$$

$$+ r \frac{Hp}{\log_e (1 + S_v)} P (1 + S_v)^{\frac{P}{Hp}} \quad [\text{Fr}] \quad (22')$$

Les (23) (24) (25) sont indépendantes des variations des prix des matériaux et de main - d'œuvre par rapport au temps t , tandis que la (26) en tient empiriquement compte au moyen du paramètre λ ; en effet pour des dévaluations ayant tendance à diminuer, on assumera des valeurs de λ plus élevées.

Donc, dans ce cas, l'expression analytique du prix global de transformation C_{gt} de la production P , si l'on considère $P_f = P$, s'obtient par l'addition algébrique des formules (22') (25) (26)

$$C_{gt} = \frac{H_p}{\log_e(1 + S_v)} \left[\alpha + \frac{\beta}{p} - r \frac{H_p}{\log_e(1 + S_v)} \right] \left[(1 + S_v)^{\frac{P}{H_p}} - 1 \right] + r \frac{H_p}{\log_e(1 + S_v)} P (1 + S_v)^{\frac{P}{H_p}} + C_0 \frac{P}{H_p} \frac{\partial}{1 - (1 + \partial)^{-\frac{P}{H_p}}} + V_0 + V_0 \eta \lambda \sqrt{P} \quad [Fr] \quad (27')$$

Le coût moyen unitaire de transformation $\bar{c}_t$ se calcule:

$$\bar{c}_t = \frac{C_{gt}}{P} = \frac{H_p}{\log_e(1 + S_v)} \left[\alpha + \frac{\beta}{p} - r \frac{H_p}{\log_e(1 + S_v)} \right] \frac{(1 + S_v)^{\frac{P}{H_p}} - 1}{P} + r \frac{H_p}{\log_e(1 + S_v)} (1 + S_v)^{\frac{P}{H_p}} + \frac{C_0}{H_p} \frac{\partial}{1 - (1 + \partial)^{-\frac{P}{H_p}}} + \frac{V_0}{P} + V_0 \eta P^{\left(\frac{1}{\lambda} - 1\right)} \quad [Fr/u] \quad (28') (*)$$

dont le minimum est:

$$\frac{d\bar{c}_t}{dP} = \frac{H_p}{\log_e(1 + S_v)} \left[\alpha + \frac{\beta}{p} - r \frac{H_p}{\log_e(1 + S_v)} \right] \cdot \frac{(1 + S_v)^{\frac{P}{H_p}} \frac{P}{H_p} \log_e(1 + S_v) - (1 + S_v)^{\frac{P}{H_p}} + 1}{P^2} + r \frac{H_p}{\log_e(1 + S_v)} (1 + S_v)^{\frac{P}{H_p}} \frac{1}{P} - \frac{C_0 \partial}{(H_p)^2} \cdot \frac{(1 + \partial)^{-\frac{P}{H_p}} \log_e(1 + \partial)}{1 - (1 + \partial)^{-\frac{P}{H_p}}} + \frac{V_0}{P^2} + \frac{1 - \lambda}{\lambda} V_0 \eta P^{\left(\frac{1}{\lambda} - 2\right)} = 0$$

(*) Les deux derniers termes de (28') peuvent être réduits à un terme unique $+\frac{V_0}{P} \left[\left(\frac{P}{P_{\lambda=0}} \right)^{\frac{1}{\lambda}} - 1 \right]$

En multipliant par P^2 on a :

$$\begin{aligned}
 & \frac{Hp}{\log_e(1+S_v)} \left[\alpha + \frac{\beta}{p} - r \frac{Hp}{\log_e(1+S_v)} \right] \frac{P}{Hp} (1+S_v)^{\frac{P}{Hp}} \log_e(1+S_v) + \\
 & - \frac{Hp}{\log_e(1+S_v)} \left[\alpha + \frac{\beta}{p} - r \frac{Hp}{\log_e(1+S_v)} \right] \left[(1+S_v)^{\frac{P}{Hp}} - 1 \right] + r(1+S_v)^{\frac{P}{Hp}} P^2 + \\
 & - \frac{C_o \vartheta \log_e(1+\vartheta)}{(Hp)^2} \cdot \frac{P^2(1+\vartheta)^{-\frac{P}{Hp}}}{1 - 2(1+\vartheta)^{-\frac{P}{Hp}} + (1+\vartheta)^{-\frac{2P}{Hp}}} + V_o + \frac{1-\lambda}{\lambda} V_o \eta P^{\frac{1}{\lambda}} = 0 \\
 & r(1+S_v)^{\frac{P}{Hp}} P^2 - \frac{C_o \vartheta \log_e(1+\vartheta)}{(Hp)^2} \frac{P^2}{(1+\vartheta)^{\frac{P}{Hp}} - 2 + (1+\vartheta)^{-\frac{P}{Hp}}} + \left[\alpha + \frac{\beta}{p} + \right. \\
 & \left. - r \frac{Hp}{\log_e(1+S_v)} \right] P(1+S_v)^{\frac{P}{Hp}} - \frac{Hp}{\log_e(1+S_v)} \cdot \left[\alpha + \frac{\beta}{p} - r \frac{Hp}{\log_e(1+S_v)} \right] \left[(1+S_v)^{\frac{P}{Hp}} + \right. \\
 & \left. - 1 \right] + \frac{1-\lambda}{\lambda} V_o \eta P^{\frac{1}{\lambda}} + V_o = 0
 \end{aligned} \tag{29'} (*)$$

Comme on vient de voir a propos de (29), la valeur de P , qui rend l'égalité possible une fois introduite dans la formule (29'), est la production optimale P_{ott} .

Les (22), (28), et (29) sont des cas particuliers des formules (22'), (28') et (29') portées à la limite où $S_v \rightarrow 0$.

En effet si l'on mène à la limite $S_v \rightarrow 0$ la formule (22') ainsi transformée, on obtient :

(*) Les deux derniers termes de (29') peuvent être réduits à un terme unique.

$$+ V_o \left[\frac{1-\lambda}{\lambda} \left(\frac{P}{P_{A,0}} \right)^{\frac{1}{\lambda}} + 1 \right]$$

$$\lim_{S_v \rightarrow 0} C_{pt} = \lim_{S_v \rightarrow 0} \left\{ \left(\alpha + \frac{\beta}{p} \right) H_p \frac{(1 + S_v)^{\frac{p}{Hp}} - 1}{\log_e (1 + S_v)} + \frac{r H_p}{[\log_e (1 + S_v)]^2} \cdot \left[\log_e (1 + S_v) P (1 + S_v)^{\frac{p}{Hp}} - H_p (1 + S_v)^{\frac{p}{Hp}} + H_p \right] \right\} = \left(\alpha + \frac{\beta}{p} \right) H_p \cdot \lim_{S_v \rightarrow 0} \frac{(1 + S_v)^{\frac{p}{Hp}} - 1}{\log_e (1 + S_v)} + r H_p \cdot \lim_{S_v \rightarrow 0} \frac{\log_e (1 + S_v) P (1 + S_v)^{\frac{p}{Hp}} - H_p (1 + S_v)^{\frac{p}{Hp}} + H_p}{[\log_e (1 + S_v)]^2}$$

puisque

$$\lim_{S_v \rightarrow 0} \frac{(1 + S_v)^{\frac{p}{Hp}} - 1}{\log_e (1 + S_v)} = \frac{0}{0}$$

en appliquant la règle d'Hospital on trouve:

$$\lim_{S_v \rightarrow 0} \frac{\frac{p}{Hp} (1 + S_v)^{(\frac{p}{Hp} - 1)}}{1} = \frac{P}{Hp} \quad \text{enfin puisque}$$

$$\lim_{S_v \rightarrow 0} \frac{\log_e (1 + S_v) P (1 + S_v)^{\frac{p}{Hp}} - H_p (1 + S_v)^{\frac{p}{Hp}} + H_p}{[\log_e (1 + S_v)]^2} = \frac{0}{0}$$

si l'on applique aussi pour cette limite la règle d'Hospital on a:

$$\lim_{S_v \rightarrow 0} \frac{P (1 + S_v)^{(\frac{p}{Hp} - 1)} + \frac{P^2}{Hp} (1 + S_v)^{(\frac{p}{Hp} - 1)} \log_e (1 + S_v) - H_p \frac{P}{Hp} (1 + S_v)^{(\frac{p}{Hp} - 1)}}{\frac{2}{1 + S_v} \log_e (1 + S_v)} =$$

$$= \lim_{S_v \rightarrow 0} \frac{P^2}{2 H_p} (1 + S_v)^{\frac{p}{Hp}} = \frac{P^2}{2 H_p}$$

Introduisons ces résultats dans l'expression $\lim_{S_v \rightarrow 0} C_{pt}$; il vient

$$\lim_{S_v \rightarrow 0} C_{pt} = \left(\alpha + \frac{\beta}{p} \right) H_p \frac{P}{Hp} + r H_p \frac{P^2}{2 H_p} = \left(\alpha + \frac{\beta}{p} \right) P + \frac{r}{2} P^2 \quad [\text{Fr}] \quad (22)$$

On obtient de cette façon encore une fois la formule (22), déjà trouvée auparavant. Le facteur S_v , réduit à zéro n'apparaît pas dans celle-ci.

Si l'on porte à la limite $S_v \rightarrow 0$ la (29') déjà transformée on a pareillement:

$$\begin{aligned}
 & \lim_{S_v \rightarrow 0} \left[r \left(1 + S_v \right)^{\frac{P}{Hp}} P^2 - \frac{C_o \vartheta \log_e (1 + \vartheta)}{(Hp)^2} \frac{P^2}{(1 + \vartheta)^{\frac{P}{Hp}} - 2 + (1 + \vartheta)^{-\frac{P}{Hp}}} + \left(\alpha + \frac{\beta}{p} \right) P \left(1 + \right. \right. \\
 & \left. \left. + S_v \right)^{\frac{P}{Hp}} - \left(\alpha + \frac{\beta}{p} \right) Hp \frac{(1 + S_v)^{\frac{P}{Hp}} - 1}{\log_e (1 + S_v)} - r Hp P \frac{(1 + S_v)^{\frac{P}{Hp}}}{\log_e (1 + S_v)} + r (Hp)^2 \frac{(1 + S_v)^{\frac{P}{Hp}} - 1}{[\log_e (1 + S_v)]^2} + \right. \\
 & \left. + \frac{1 - \lambda}{\lambda} V_o \eta P^{\frac{1}{\lambda}} + V_o \right] = r P^2 - \frac{C_o \vartheta \log_e (1 + \vartheta)}{(Hp)^2} \frac{P^2}{(1 + \vartheta)^{\frac{P}{Hp}} - 2 + (1 + \vartheta)^{-\frac{P}{Hp}}} + \left(\alpha + \frac{\beta}{p} \right) P - \left(\alpha + \frac{\beta}{p} \right) Hp \cdot \lim_{S_v \rightarrow 0} \frac{(1 + S_v)^{\frac{P}{Hp}} - 1}{\log_e (1 + S_v)} - r Hp \cdot \\
 & \cdot \lim_{S_v \rightarrow 0} \frac{\log_e (1 + S_v) P (1 + S_v)^{\frac{P}{Hp}} - Hp (1 + S_v)^{\frac{P}{Hp}} + Hp}{[\log_e (1 + S_v)]^2} + \frac{1 - \lambda}{\lambda} V_o \eta P^{\frac{1}{\lambda}} + V_o = r P^2 + \\
 & - \frac{C_o \vartheta \log_e (1 + \vartheta)}{(Hp)^2} \frac{P^2}{(1 + \vartheta)^{\frac{P}{Hp}} - 2 + (1 + \vartheta)^{-\frac{P}{Hp}}} + \left(\alpha + \frac{\beta}{p} \right) P - \left(\alpha + \frac{\beta}{p} \right) Hp \frac{P}{Hp} + \\
 & - r Hp \frac{P^2}{2 Hp} + \frac{1 - \lambda}{\lambda} V_o \eta P^{\frac{1}{\lambda}} + V_o = \frac{r}{2} P^2 + \\
 & - \frac{C_o \vartheta \log_e (1 + \vartheta)}{(Hp)^2} \frac{P^2}{(1 + \vartheta)^{\frac{P}{Hp}} - 2 + (1 + \vartheta)^{-\frac{P}{Hp}}} + \frac{1 - \lambda}{\lambda} V_o \eta P^{\frac{1}{\lambda}} + V_o = 0 \quad (29)
 \end{aligned}$$

C'est-à-dire que, si l'on mène à la limite $S_v \rightarrow 0$ la (29'), on obtient encore une fois la formule (29) déjà réalisée au moyen de l'autre procédé.

Si l'on mène à la limite $S_v \rightarrow 0$ la formule (28') on réalise la (28), les termes variables en fonction de S_v étant analogues aux termes de la formule (22').

Pour la solution de (29') l'emploi des calculateurs électroniques peut s'avérer utile, surtout lorsque ces opérations doivent être faites fréquemment.

Pour résoudre aisément le problème il est possible de déterminer graphiquement la production optimale et le coût le plus bas. Il s'agit de porter sur un diagramme rectangulaire (les coordonnées étant chargées de renseigner sur la production P et les prix moyens unitaires $\bar{c}_t$) des points obtenus à la suite de la solution de (28) ou (28'), et de construire la courbe d'interpolation. A partir de celle-ci, il est aisé de définir le prix le plus bas et la production optimale relative.

Porter sur un diagramme tous les termes de (28) ou de (28'), en plus de la valeur addition algébrique peut s'avérer intéressant. De cette façon il est plus aisé d'établir quels sont les faits qui influencent davantage le coût de production et qu'il convient de contrôler de près dans la vie productive de la machine.

Pour rendre moins laborieuses les opérations relatives aux coordonnées de ces points, nous allons étudier quelques graphiques et tableaux, permettant de définir plus rapidement les termes des formules (28) ou (28').

4. ETUDE DES NOMOGRAMMES

Le rapport $\frac{P}{H p}$ est contenu dans le facteur dépendant de

P du premier et second terme de la formule (28'); son logarithme est:

$$\log \frac{P}{H p} = \log P - \log H p$$

si l'on admet

$$\begin{aligned} f_1(P) &= \log(P) \\ f_2(Hp) &= -\log(Hp) \\ f_3\left(\frac{P}{Hp}\right) &= \log\left(\frac{P}{Hp}\right) \end{aligned}$$

cette expression est pareille à $f_1(P) + f_2(Hp) = f_3\left(\frac{P}{Hp}\right)$ et il s'ensuit qu'elle est représentable par un nomogramme à trois axes parallèles ainsi qu'on peut voir au tableau 2, au moyen des trois premiers axes verticaux.

Sur ces axes on n'a pas marqué respectivement les valeurs de $\log P$, $\log(Hp)$ et $\log \frac{P}{Hp}$ mais les valeurs relatives de P , Hp et $\frac{P}{Hp}$, en obtenant des échelles fonctionnelles logarithmiques, dont les distances par rapport à l'origine de l'échelle sont proportionnelles au logarithme de la valeur que la variable, sur l'axe pris en considération, assume en ce point-là. L'origine coïncide avec les points de graduation 1, puisque

$$\log 1 = 0. \quad \frac{P}{Hp} \text{ paraît comme exposant de } (1+S_v).$$

Le logarithme de l'expression

$$(1+S_v)^{\frac{P}{Hp}}$$

est

$$\log(1+S_v)^{\frac{P}{Hp}} = \frac{P}{Hp} \log(1+S_v)$$

et le logarithme des deux membres de cette égalité est:

$$\log \left[\log (1 + S_v)^{\frac{P}{H_p}} \right] = \log \frac{P}{H_p} + \log [\log (1 + S_v)]$$

en posant

$$\begin{aligned} f_3 \left(\frac{P}{H_p} \right) &= \log \left(\frac{P}{H_p} \right) \\ f_4 (S_v) &= \log [\log (1 + S_v)] \\ f_5 (1 + S_v)^{\frac{P}{H_p}} &= \log \left[\log (1 + S_v)^{\frac{P}{H_p}} \right] \end{aligned}$$

l'égalité se transforme en:

$$f_3 \left(\frac{P}{H_p} \right) + f_4 (S_v) = f_5 \left((1 + S_v)^{\frac{P}{H_p}} \right)$$

qui est représentable par un nomogramme à trois axes parallèles avec échelle fonctionnelle ainsi qu'il est indiqué dans le tableau 2.

L'axe $\frac{P}{H_p}$ de ce nomogramme est commun avec l'axe du nomogramme dont il a été question plus haut; les deux nomogrammes forment donc un seul nomogramme ayant 5 axes parallèles; si l'on a P et H_p , l'axe $\frac{P}{H_p}$ remplit la fonction d'une droite d'appui.

Sur le cinquième axe, gradué suivant le critère de l'échelle fonctionnelle

$$\log \left[\log (1 + S_v)^{\frac{P}{H_p}} \right],$$

on lit la valeur de l'expression

$$(1 + S_v)^{\frac{P}{H_p}}$$

au point d'intersection de la droite alignant la valeur $\frac{P}{H_p}$ sur la valeur fixée par la dévaluation ($S_v\%$).

On a ainsi défini le facteur dépendant de P du 2^{ème} terme de (28').

Pour résoudre aussi tout le facteur rattaché à P,

$$\frac{(1 + S_v)^{\frac{P}{H_p}} - 1}{P}$$

du premier terme de la formule (28'), le nomogramme se poursuit par une courbe-guide, construite par une enveloppée de tangentes.

Toutes les tangentes à la courbe, sortant d'un point de l'axe $(1 + S_v)^{\frac{P}{H_p}}$ interceptent le 6^{ème} axe vertical dans le point correspondant à la valeur de l'expression

$$(1 + S_v)^{\frac{P}{H_p}} - 1$$

L'échelle de cet axe est fonction logarithmique, ce qui permet la détermination du rapport

$$\frac{(1 + S_v)^{\frac{P}{H_p}} - 1}{P},$$

en fait son logarithme est:

$$\log \frac{(1 + S_v)^{\frac{P}{H_p}} - 1}{P} = \log \left[(1 + S_v)^{\frac{P}{H_p}} - 1 \right] - \log P$$

qui est une expression représentable par un nomogramme à trois axes parallèles avec échelles fonctionnelles logarithmiques. Dans le tableau 2 ce nomogramme se compose en plus du 6^{ème} axe vertical, d'un 7^{ème} portant l'échelle fonctionnelle de la production P (axe pareil au second du même tableau) et d'un 8^{ème} ayant fonction d'appui au service de l'échelle logarithmique de facteur rattaché à P du premier terme de la formule (28').

Il a été ainsi construit un nomogramme unique nous permettant de définir les facteurs rattachés à P du premier et second terme de la formule (28').

Sur le tableau, on a indiqué les alignements nécessaires à la solution d'un exemple ayant les données suivantes:

$$H_p = 5.830.000 \quad u/an$$

$$\frac{P}{H_p} = 9 \quad ans$$

$$S_v = 3,5\%$$

En alignant le point connu de l'axe H_p sur un point connu de l'axe $\frac{P}{H_p}$ on obtient:

$$P = 52.500.000$$

En alignant le point connu $\frac{P}{H_p}$ sur s_v on obtient

$$(1 + S_v) \frac{P}{H_p} = 1,365$$

qui est le facteur dépendant de P du second terme de (28'). A partir du point trouvé sur le 5^{ème} axe on trace la tangente à la courbe-guide jusqu'au point de rencontre de la droite d'appui formée par le 6^{ème} axe vertical.

Ce dernier point, il faut le relier au point du 7^{ème} axe

$H_p [u/an]$ $\frac{P}{H_p} [ans]$ $\frac{P}{(1+S_v)H_p - I}$

1.10⁴
2.
5.
1.10⁵
2.
5.
1.10⁶
2.
5.
1.10⁷
2.
5.
1.10⁸
2.
5.
1.10⁹
2.
5.
1.10¹⁰

 $P [u]$ 1.10^4

2.

5.

 1.10^5

2.

5.

 1.10^6

2.

5.

 1.10^7

2.

5.

 1.10^8

2.

5.

 1.10^9

2.

5.

 1.10^{10}

0,4

0,5

0,6

0,8

1

2

3

4

5

6

8

10

20

30

100

50

20

10

8

6

4

2

1

0,5

0,2

0,1

0,05

0,02

0,01

3,50

3,00

2,50

2,00

1,50

1,20

1,10

1,08

1,06

1,04

1,03

1,02

1,01

1,00

0,99

0,98

0,97

0,96

0,95

0,94

0,93

0,92

0,91

0,02

0,03

0,04

0,05

0,06

0,08

0,10

0,20

0,50

1,00

1,50

2,00

3,00

4,00

5,00

6,00

7,00

8,00

9,00

10,00

11,00

12,00

13,00

 $P [u]$ 1.10^4

2.

5.

 1.10^5

2.

5.

 1.10^6

2.

5.

 1.10^7

2.

5.

 1.10^8

2.

5.

 1.10^9

2.

5.

 1.10^{10} 5.10^6 2.10^6 1.10^6 5.10^7 2.10^7 1.10^7 5.10^8 2.10^8 1.10^8 5.10^9 2.10^9 1.10^9 5.10^{10} 2.10^{10} 1.10^{10} 5.10^{11} 2.10^{11} 1.10^{11} 5.10^{12} 2.10^{12} 1.10^{12}

Tableau 2

vertical correspondant à la valeur $P = 52.500.000$ u (trouvé sur le second axe du même nomogramme) par une droite coupant le 8^{ème} axe dans le point:

$$\frac{1}{P} \left[(1 + S_v)^{\frac{P}{H_p}} - 1 \right] = 7 \cdot 10^{-9}$$

qui est le facteur dépendant de P du premier terme de la formule (28').

Sur le tableau 3 [7] on peut lire le facteur

$$\frac{1}{1 - (1 + \beta)^{-\frac{P}{H_p}}}$$

en fonction du taux β et du nombre d'années $\frac{P}{H_p}$.

Ce facteur se trouve dans le troisième terme de (28') et dans le quatrième de (28).

L'expression du 4^{ème} et 5^{ème} termes de (28) ou du 5^{ème} et 6^{ème} termes de (28') est:

$$-\frac{V_o}{P} - V_o \cdot \eta \cdot P^{\frac{1}{\lambda}} \left(\frac{1}{P} - 1 \right)$$

qui peut être transformée en:

$$-\frac{V_o}{P} \left[\eta P^{\frac{1}{\lambda}} - 1 \right]$$

et puisque (cf. page 22)

$$\eta = P_{\lambda} \cdot \frac{1}{P}$$

δ

$$1 - (1 + \delta)^{-\frac{P}{H P}}$$

VERSEMENTS D'AMORTISSEMENT

Versement périodique différé nécessaire
pour éteindre en $\frac{P}{H P}$ périodes la dette actuelle d'un franc

$\frac{P}{H P} \backslash \delta$	3,50 %	4 %	4,50 %	5 %	5,50 %
1	1,035	1,040	1,045	1,050	1,055
2	0,526	0,530	0,534	0,538	0,542
3	0,357	0,360	0,364	0,367	0,371
4	0,272	0,275	0,279	0,282	0,285
5	0,221	0,225	0,228	0,231	0,234
6	0,188	0,191	0,194	0,197	0,200
7	0,163	0,167	0,170	0,173	0,176
8	0,145	0,148	0,152	0,155	0,158
9	0,131	0,134	0,138	0,141	0,144
10	0,120	0,123	0,126	0,129	0,133
$\frac{P}{H P} \backslash \delta$	6 %	6,50 %	7 %	7,50 %	8 %
1	1,060	1,065	1,070	1,075	1,080
2	0,545	0,549	0,553	0,557	0,561
3	0,374	0,378	0,381	0,384	0,388
4	0,286	0,290	0,295	0,299	0,302
5	0,237	0,241	0,244	0,247	0,250
6	0,203	0,207	0,210	0,213	0,216
7	0,179	0,182	0,185	0,189	0,192
8	0,161	0,164	0,167	0,171	0,174
9	0,147	0,150	0,153	0,157	0,160
10	0,136	0,139	0,142	0,146	0,149

on obtient:

$$\frac{V_0}{P} \left[P_{A=0}^{-\frac{1}{\lambda}} \cdot P^{\frac{1}{\lambda}} - 1 \right] = \frac{V_0}{P} \left[\left(\frac{P}{P_{A=0}} \right)^{\frac{1}{\lambda}} - 1 \right]$$

La partie de cette expression

$$\frac{1}{P} \left[\left(\frac{P}{P_{A=0}} \right)^{\frac{1}{\lambda}} - 1 \right]$$

peut se résoudre en fonction de P , de $P_{A=0}$ et de λ grâce au nomogramme du tableau 4.

Les trois premiers axes jouent un rôle d'appui aux échelles fonctionnelles logarithmiques respectivement de $\frac{P}{P_{A=0}}$, de P et de $\frac{1}{P_{A=0}}$ qui rendent possible le rapport $\frac{P}{P_{A=0}}$ en fonction

des deux variables relatives.

Le logarithme de la puissance

$$\left(\frac{P}{P_{A=0}} \right)^{\frac{1}{\lambda}}$$

est

$$\log \left(\frac{P}{P_{A=0}} \right)^{\frac{1}{\lambda}} = \frac{1}{\lambda} \cdot \log \frac{P}{P_{A=0}}$$

ce qui est une expression de la forme

$$f_1 \left[\left(\frac{P}{P_{A=0}} \right)^{\frac{1}{\lambda}} \right] = f_2(\lambda) \cdot f_3 \left(\frac{P}{P_{A=0}} \right)$$

qu'on peut représenter par un nomogramme en forme de N [10] avec deux échelles logarithmiques, marquées respectivement sur

les deux axes parallèles et relatifs aux variables $\frac{P}{P_{A=0}}$ et $\left(\frac{P}{P_{A=0}}\right)^{\frac{1}{\lambda}}$; les deux échelles logarithmiques ont deux côtés opposés, et le 3^{ème} axe, relatif à la variable λ , relie les points des deux premiers axes auxquels correspond la valeur zéro de la fonction logarithmique et par conséquent la valeur 1 de la variable.

Ce nomogramme est reporté sur le tableau 4 et enchaîne la partie du nomogramme étudiée précédemment, grâce à l'axe commun dotée d'une échelle logarithmique fonctionnelle de la variable $\frac{P}{P_{A=0}}$, qui devient une droite d'appui.

Les deux échelles logarithmiques du nomogramme en forme de N sont tracées avec le même module $m_x = m_y = 125 \text{ mm.}$, tandis que la longueur de l'axe transversal est

$$k = 312 \text{ mm.}$$

L'équation de l'échelle de λ qui permet de calculer par points l'échelle elle-même, en mesurant les distances à partir

du point de l'échelle $\left(\frac{P}{P_{A=0}}\right)^{\frac{1}{\lambda}}$ est [10]

$$X_{\lambda}' = \frac{K m_x f(\lambda)}{m_x f(\lambda) + m_y}$$

mais puisque $m_x = m_y$

$$f(\lambda) = \frac{1}{\lambda}$$

la X' se transforme en:

$$X'_\lambda = \frac{K \frac{1}{\lambda}}{\frac{1}{\lambda} + 1} = \frac{K}{\lambda} \frac{\lambda}{1 + \lambda} = \frac{K}{1 + \lambda}$$

et par la substitution des valeurs, on réalise la formule:

$$X'_\lambda = \frac{312}{1 + \lambda}$$

employée pour le calcul du tableau suivant d'après lequel on marque les graduations de l'échelle λ du tableau 4.

$1 + \lambda$	=	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5
λ	=	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4
X'_λ	=	156	125,0	104	89,1	78	69,2	62,5

Pour passer de l'axe $\left(\frac{P}{P_{A=0}} \right)^{\frac{1}{\lambda}}$ à l'axe indiquant l'expression $\left(\frac{P}{P_{A=0}} \right)^{\frac{1}{\lambda}} - 1$ on recourt à une courbe-guide construite pour une enveloppée de tangentes.

Toutes les tangentes à la courbe, sortant d'un point de l'axe $\left(\frac{P}{P_{A=0}} \right)^{\frac{1}{\lambda}}$ rencontrent sur le sixième axe vertical le point correspondant à la valeur de l'expression $\left(\frac{P}{P_{A=0}} \right)^{\frac{1}{\lambda}} - 1$

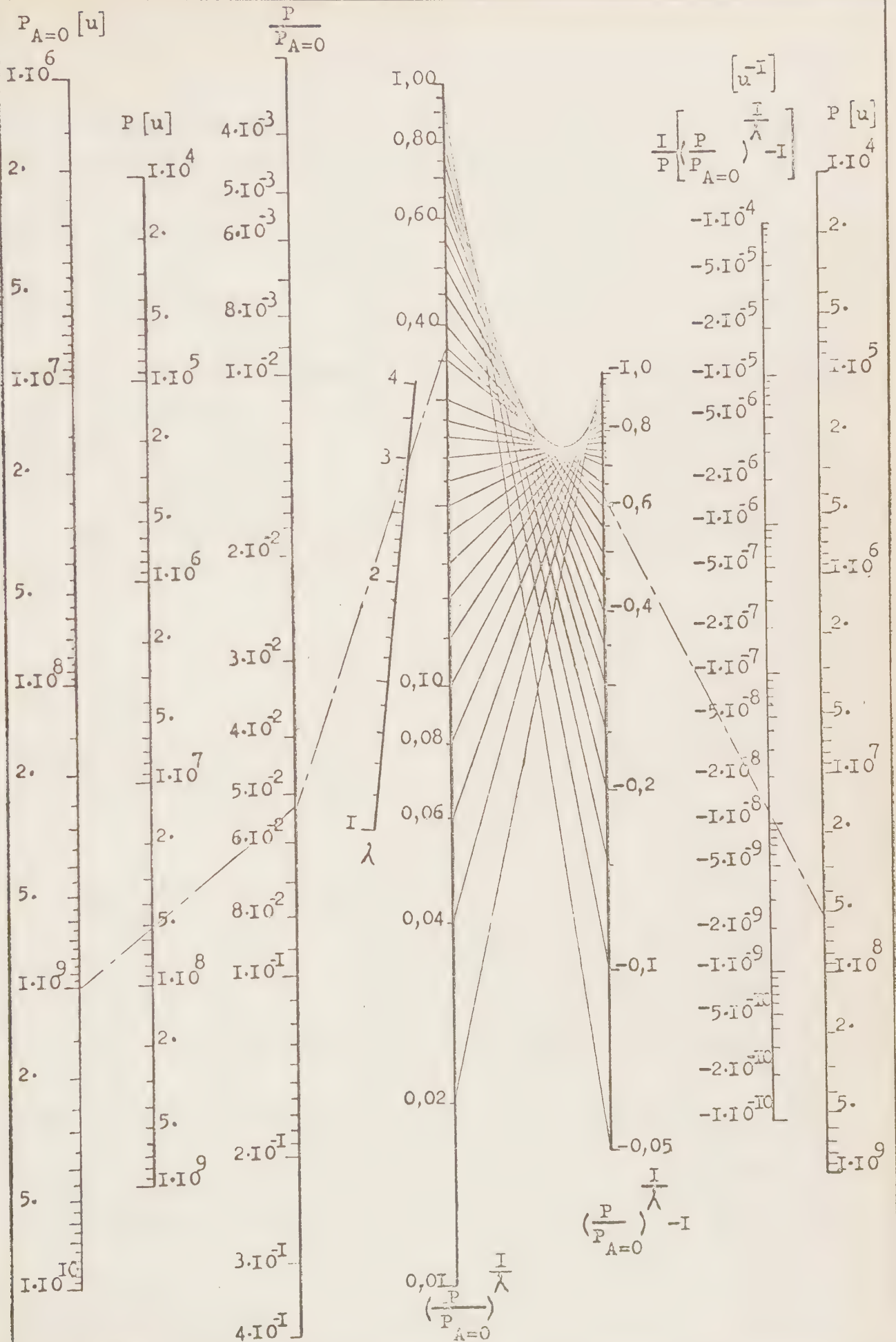


Tableau 4

L'échelle de cet axe est fonction logarithmique, ce qui permet la détermination du rapport

$$\frac{\left(\frac{P}{P_{A=0}} \right)^{\frac{1}{\lambda} - 1}}{P}$$

qui est porté avec l'échelle fonctionnelle sur le 7^{ème} axe vertical. Sur le 8^{ème} axe vertical est tracée l'échelle fonctionnelle de la variable P (cette échelle est analogue à celle qui est indiquée sur le second axe).

Sur le tableau n. 4 sont marqués les alignements qui, à partir des points connus

$$\begin{array}{lll} P & = & 52.500.000 \quad u \\ P_{A=0} & = & 1.10^9 \quad u \\ \lambda & = & 3 \end{array}$$

fournissent la solution de l'expression citée.

On joint la valeur connue

$$P_{A=0} = 1.10^9 \quad u$$

du premier axe à la valeur connue

$$P = 5,25.10^7 \quad u$$

du second axe grâce à un segment prolongé jusqu'à l'interception de la droite d'appui $\frac{P}{P_{A=0}}$; le 2^{ème} segment unit le point trouvé sur le 3^{ème} axe, à la droite d'appui $\left(\frac{P}{P_{A=0}} \right)^{\frac{1}{\lambda}}$ en passant par le point $\lambda = 3$; le 3^{ème} segment est la tangente à la courbe guide reliant le point trouvé, sur le 5^{ème} axe ver-

tical, à l'axe $\left(\frac{P}{P_{A=0}} \right)^{\frac{1}{\lambda}-1}$. Si l'on unit au moyen d'un segment ce dernier point avec le huitième axe vertical, à la hauteur du point donné P (analogue à celui pris sur le 2^{ème} axe), on rencontre le 7^{ème} axe vertical à la hauteur de la valeur de l'expression.

$$\frac{1}{P} \left[\left(\frac{P}{P_{A=0}} \right)^{\frac{1}{\lambda}-1} \right]$$

5. CONCLUSIONS

Pour résoudre les principaux problèmes techniques et pratiques relevant du domaine de l'installation, il est nécessaire de déterminer la durée optimale à travers:

- 1) Le coût moyen le plus bas de transformation $\bar{c}_t$;
- 2) La production finale P [u] que doit totaliser la machine (travaillant H [h/a]) pour atteindre le $\bar{c}_t$ le plus bas.

Ces valeurs en question peuvent s'obtenir:

- 1) Analytiquement, en résolvant les (29') et (28')
- 2) Graphiquement, en portant au diagramme rectangulaire sur les abscisses la production réalisable compte tenu du temps et sur les ordonnées le coût moyen unitaire relatif.

Le développement de ces analyses appelle une longue recherche des paramètres présents dans les relations sur les résultats des machines principalement intéressées au travail.

En outre, ces paramètres peuvent s'adapter opportunément

même à des machines d'un type nouveau, en partie analogues aux machines prises en considération, à condition que l'on connaisse suffisamment les différences techniques et de fabrication.

Les paramètres à rechercher à travers les résultats sont:

- τ_u [h/h] = Temps horaire de production, durant la production continue, net d'entretien et de réparation;
- P_e [u] = Nombre d'unités produites par rapport à chaque lot économique (il peut être utile de faire une recherche de la valeur optimale de P_e);
- C [Fr/u] = Prix des matériaux d'emploi, de l'outillage, des ustensiles et de l'énergie pour chaque unité de production;
- R_o [Fr/u] = Coût unitaire initial des réparations et de l'entretien par unité de production;
- r [Fr/u²] = Accroissement moyen des frais pour réparations et entretien par chaque unité successivement produite;
- l [Fr/h] = Coût moyen heure-ouvrier, y compris les charges;
- g_1 [Fr/Fr] = Coefficient pour définir combien de francs on a dépensé pour frais généraux, réparties proportionnellement à la main - d'œuvre, sur chaque franc dépensé pour main - d'œuvre directe;
- G_2 [Fr/u] = Reste des frais généraux répartis sur chaque unité produite;
- ΔM [Fr/u] = Différence de prix entre le matériau brut présent dans l'unité produite par la machine et la valeur d'unité de rebut;

- S_f [Fr/u] = Perte de valeur du matériau brut se transformant en riblons, répartie sur chaque unité produite;
- R_a [Fr] = Montant des frais de mise en train de la machine, dénombrant: installation et aménagement relatif, équipement initial, mise au point;
- λ = Coefficient;
- $P_{A=0}$ [u] = Production réalisable en faisant travailler la machine jusqu'à ce que le prix de vente de la machine soit égal aux frais de déplacement et de transport.

On a en outre besoin de connaître les paramètres suivants, propres de la machine dont on veut déterminer la production optimale, ou du cycle de travail réalisé sur elle:

- p'_0 [u/h] = Productivité brute continue; ce paramètre est inversement proportionnel à la durée normale d'un cycle de travail convenablement augmenté, pour tenir compte des incidences qui retardent le rythme de la production.
- s_0 [u/h] = Rebut horaire moyen sortant de la machine exécutant la p'_0 .
- T_e [h] = Temps employé pour un change-type.
- n = Nombre d'ouvriers attachés à la machine.
- V_0 [Fr] = Prix d'achat de la machine.
- V_{ta} [Fr] = Frais d'achat et de transport.

La production annuelle H_p [u/an] est fixée sur la base d'exigences différentes.

Le taux de dévaluation peut être calculé en extrapolant les variations moyennes de la dévaluation pendant les années

précédentes, en la corrigeant opportunément sur la base des prévisions fondées sur des événements probables, tels par exemple, le renouvellement des contrats de travail, la réorganisation interne avec variations des frais généraux, les cours du marché, les répercussions d'ordre politique etc.

Une autre donnée à retenir, c'est le taux θ des intérêts passifs.

Grâce aux paramètres indiqués ci-dessus on peut établir les éléments de calcul suivants:

$$p_o = p_o' - s_o \quad [u/h] \quad (3)$$

$$K = \frac{\tau_u p_o T}{1 + \frac{\tau_u p_o T}{P_e}} \quad [h/h] \quad (10)$$

$$g = 1 + g_1 \quad [u/h] \quad (11)$$

$$p = K \tau_u p_o \quad [Fr] \quad (23)$$

$$C_o = V_o + V_{ta} + R_a$$

$$\alpha + \frac{\beta}{p} = \frac{g \ln}{p} + G_2 + C + R_o + \Delta M \frac{s_o}{p} + S_i$$

$$\log_e (1 + S_v)$$

Ces éléments de calcul permettent d'obtenir la production optimale et le coût moyen relatif le plus bas de transformation d'après les deux manières citées.

Pour la solution analytique des relations (29') et (28') il est convenable d'employer un calculateur électronique, tandis que pour la solution graphique on peut suivre le procédé suivant:

a) on fixe une succession de 4 ou 5 valeurs de P (La succession la plus avantageuse est en général: $P_1 = 0,1 \cdot P_{A=0}$; $P_2 = 0,25 \cdot P_{A=0}$; $P_3 = 0,5 \cdot P_{A=0}$; $P_4 = 0,85 \cdot P_{A=0}$).

b) on résout la (28') pour chaque valeur de la succession fixée au point a (on peut réduire la complexité de ce calcul en employant les tableaux 2 - 3 - 4);

c) on porte la succession des valeurs obtenues avec la (28') au diagramme rectangulaire ayant les coordonnées suivantes: $\bar{c}_t$ et P;

d) on trace la courbe d'interpolation des points tracés dans le graphique cartésien;

e) on fait ressortir sur le diagramme rectangulaire le $\bar{c}_t$ le plus bas et la production relative (le $\bar{c}_t$ le plus bas est le coût moyen de transformation; la production correspondante est la production optimale).

La durée optimale d'une installation ou d'une machine s'obtient en résolvant la relation (12) grâce à la valeur de la production optimale déterminée.

6. BIBLIOGRAPHIE

- 1) Terborgh - Business Investment Policy - Machinery and Allied Products Institute Washington 1958.
- 2) Terborgh - Dynamic Equipment Policy - Mc Gray Hill, New York - 1954.
- 3) Zocco - L'organizzazione della produzione - Enciclopedia dell'azienda italiana Vol. 1 Sez. 4 - Etas Kompass - (Dicembre 1954) Milano.
- 4) Danese-Corso-Ungaro - Criteri di scelta degli investimenti di capitale negli impianti produttivi - Impianti N. 3 - Franco Angeli Editore - Milano 1969.
- 5) Bonel - La funzione del controllo economico nel quadro aziendale - Ingegneria Meccanica N. 5 (Maggio 1966).
- 6) Tamagno - La determinazione della durata ottimale delle macchine operatrici e i vantaggi economici della sua applicazione - Rivista Riv. (12 Luglio 1965).
- 7) Frè - Matematica finanziaria e attuariale - Lattes (1961).
- 8) De Carlo - Nassi - Tempi metodi e retribuzione nel lavoro industriale - Edizioni Crystallo - (Dicembre 1963).
- 9) Perrella - Determinazione dei costi nelle medie e piccole industrie - Hoepli (1962) - Milano.

- 10) Rusconi
- Appunti di nomografia - Rivista di meccanica - N. 232 e segg. (Aprile 1960).
- 11) Dean
- Capital Budgeting - Columbia University Press - New York 1961.
- 12) Argenziano
- Il rinnovo degli impianti - Dott. Antonio Giuffrè Editore - Milano 1963.

DEUXIÈME THÈSE

Propositions données par la Faculté

" Choix optimal des installations de distribution monotube d'eau pressurisée à haut potentiel thermique."

Vu et approuvé

Paris, le ...13...Avril.....19..70

Le Doyen de la Faculté des Sciences
de Paris

Marc. ZAMANSKY

Vu
et permis d'imprimer

Le Recteur de l'Académie de Paris
Robert MALLET

